

山东省地方标准

DB37/T 4387—2021

碳纤维板体外预应力施工技术规范

Technical specification for construction of external prestressing force for carbon fiber
plate

2021-07-09 发布

2021-08-09 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 材料及设备 1

 4.1 碳纤维板 1

 4.2 结构胶 2

 4.3 表面防护材料 3

 4.4 锚具 3

 4.5 压条 3

 4.6 张拉设备 3

5 施工工艺 3

 5.1 基本要求 4

 5.2 施工流程图 4

 5.3 施工准备 4

 5.4 施工放样 4

 5.5 基面处理 4

 5.6 安装锚固件 4

 5.7 安装张拉锚固装置 5

 5.8 张拉碳纤维板 5

 5.9 防护 5

6 检验验收 5

 6.1 进场检验 5

 6.2 交工验收 6

 6.3 验收文件和记录 6

附录 A（资料性） 碳纤维板张拉记录表 8

附录 B（资料性） 防护检查记录表 9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：山东省高速路桥养护有限公司、山东高速青岛公路有限公司、山东省路桥集团有限公司、山东省道路养护废旧材料可持续利用研发中心、柳州欧维姆结构检测技术有限公司、卡本科技集团股份有限公司。

本文件主要起草人：井海涛、吴珂华、李振军、李振、李虎、李根、徐强、李长义、李传夫、刘磊、荆靖、樊超、李庆、王炎培、魏衍伟、宋晓婷、柏旭东、井光、陆绍辉、庞忠华、李翔、汤飞、刘国玉。

碳纤维板体外预应力施工技术规范

1 范围

本文件规定了碳纤维板体外预应力施工的术语和定义、材料及设备、施工工艺和检验验收等。
本文件适用于承载能力不足的弯拉混凝土构件的加固和补强。
本文件不适用于腐蚀、放射等特殊环境下的施工。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2567 树脂浇铸体性能试验方法
- GB/T 2793 胶粘剂不挥发物含量的测定
- GB/T 3354 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法
- GB/T 6329 胶粘剂对接接头拉伸强度的测定
- GB/T 7124 胶粘剂拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)
- GB 50728 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范
- JT/T 532 桥梁用碳纤维布(板)
- JT/T 1267 桥梁用预应力碳纤维板—夹持式锚具

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

碳纤维板体外预应力 externally prestressing carbon fiber plate

通过锚固装置在混凝土构件体外布置碳纤维板并施加预应力，使其受力得到调整、承载力得到提高、使用性能得到改善的一种主动加固方式。

3.2

结构胶粘剂 structural adhesive

用于承重结构或构件胶接的、能长期承受设计应力和环境作用的胶粘剂（以下简称“结构胶”）。

[来源：GB 50728—2011，2.0.7]

3.3

表面防护材料 surface protection materials

根据防护要求（防紫外线、防火等）进行选择并涂装于碳纤维板材表面的防护材料。

4 材料及设备

4.1 碳纤维板

4.1.1 碳纤维板的原材料应选用聚丙烯腈基(PAN基) 12 k 或 12 k 以下的小丝束连续纤维，不应使用大丝束纤维、玄武岩纤维代替。

4.1.2 碳纤维板的型号表示方法见图 1。

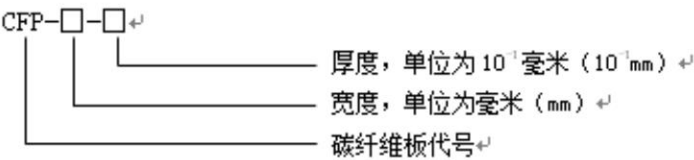


图1 碳纤维板型号表示方法

示例：宽度为 50 mm，厚度为 1.2 mm 的碳纤维板标记为：CFP-50-12。

4.1.3 碳纤维板的外观要求和检验方法：

- a) 碳纤维板均应进行外观检查；
- b) 在正常（光）照度下，目测外观应均一、整齐、展开后无明显弯曲弯折，表面干净，不得有污染和破损。

4.1.4 碳纤维板的尺寸偏差要求、取样和检验方法：

- a) 碳纤维板的尺寸偏差应小于等于 $\pm 1\%$ ；
- b) 同一检验批取样数量应大于等于 1%，且不少于 3 片；
- c) 用精度为 0.01 mm 的千分尺，对碳纤维板的厚度和宽度进行检验，随机选取 3 处测量，取算术平均值。

4.1.5 碳纤维板的力学性能指标、取样和检验方法：

- a) 碳纤维板的力学性能指标应符合 JT/T 532 的规定，其主要力学性能指标见表 1；
- b) 同一检验批取样数量应大于等于 1%，且不少于 3 片；
- c) 按照表 1 规定的检验方法进行力学性能指标检验。

表1 碳纤维板力学性能指标

项目	单位	性能等级		检验方法
		I 级	II 级	
抗拉强度（标准值）	MPa	≥2 400	≥2 000	GB/T 3354
受拉弹性模量	GPa	≥160	≥140	
伸长率	%	≥1. 7	≥1. 5	
层间剪切强度	MPa	≥50	≥40	GB 50728
碳纤维板与混凝土正拉 粘接强度	MPa	≥2. 5，且为混凝土内聚破坏		

4.2 结构胶

碳纤维板体外预应力施工用结构胶的基本性能要求和检验方法应符合表2的规定。

表2 结构胶基本性能指标及检验方法

项目		单位	性能要求	检验方法
胶 体 性 能	抗拉强度	MPa	≥ 38	GB/T 2567
	受拉弹性模量	MPa	$\geq 2\,400$	
	伸长率	%	≥ 1.5	
	抗弯强度	MPa	≥ 50 ，且不得呈脆性（碎裂状）破坏	
	抗压强度	MPa	≥ 70	
粘 结 能 力	钢对钢拉伸抗剪强度（标准值）	MPa	≥ 14	GB/T 7124
	钢对钢粘接抗拉强度	MPa	≥ 40	GB/T 6329
	钢对钢 T 冲击剥离长度	mm	≤ 20	GB 50728
	钢对 C45 混凝土的正拉粘结强度	MPa	≥ 2.5 ，且为混凝土内聚破坏	
不挥发物含量（固体含量）		%	≥ 99	GB/T 2793
注：除标有“标准值”外，其它均为平均值。				

4.3 表面防护材料

4.3.1 表面防护材料的粘结性能应与碳纤维板表面涂刷的结构胶相容并能可靠粘结。

4.3.2 表面防护材料应对碳纤维板和结构胶同时无害。

4.4 锚具

4.4.1 碳纤维板及锚具宜在工厂组装。

4.4.2 碳纤维板体外预应力加固用锚具的外观、尺寸、性能和检验方法应符合 JT/T 1267 的相关规定。

4.4.3 锚具应满足分级张拉、补张拉和放张工艺的要求。

4.5 压条

4.5.1 压条的布置间距不宜大于 3 m。

4.5.2 通过调整压条压紧度控制碳纤维板与基面间距宜在 2 mm~5 mm 范围内。

4.5.3 压条与碳纤维板接触的部分应光滑，边缘应作圆弧处理，不得对碳纤维板造成破坏。

4.6 张拉设备

4.6.1 张拉千斤顶的额定张拉力宜为所需张拉力的 1.5 倍，且不应小于 1.2 倍。张拉机具设备应与锚具产品配套使用，并应在使用前进行校准、检验和标定。与千斤顶配套使用的压力表应选用防振型产品，其最大读数应为张拉力的 1.5 倍~2.0 倍，标定精度应不低于 1.0 级。

4.6.2 张拉千斤顶与压力表应配套标定、配套使用，标定应在经国家授权的法定计量技术机构定期进行，标定时千斤顶活塞的运行方向应与实际张拉工作状态一致。当处于下列情况之一时，应重新进行标定：

- a) 使用时间超过 6 个月；
- b) 张拉次数超过 300 次；
- c) 使用过程中千斤顶或压力表出现异常情况；
- d) 千斤顶检修或更换配件后。

4.6.3 采用测力传感器测量张拉力时，测力传感器应每年送检一次。

5 施工工艺

5.1 基本要求

- 5.1.1 使用碳纤维板体外预应力加固的混凝土构件，其现场实测混凝土抗压强度应不低于 25 MPa。
- 5.1.2 施工宜在环境温度高于 5℃ 的条件下进行，并应符合结构胶的施工温度。当环境温度低于 5℃ 时，应采用低温固化型的结构胶或采取升温措施。
- 5.1.3 施工前，碳纤维板粘贴部位的混凝土表层应平整、干燥，雨天、潮湿条件下应采用专用结构胶。

5.2 施工流程图

碳纤维板体外预应力施工的主要流程见图2。

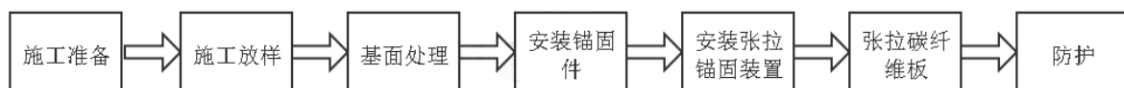


图2 碳纤维板体外预应力施工流程图

5.3 施工准备

- 5.3.1 施工前应结合工程的规模、工期、地形特点等情况，进行策划和实施，合理布置场地。开工前场地应平整，水、电、道路以及通信应通畅。
- 5.3.2 施工场地所设置的各种设施应满足施工需要及安全施工要求，防止事故发生。
- 5.3.3 施工平台、模板应有足够的强度、刚度和稳定性，应能承受施工过程中产生的各种荷载，抵挡施工过程中可能发生的振动和偶然撞击。
- 5.3.4 施工使用的平台、模板和支架应构造合理，结构受力明确，安装拆除方便。

5.4 施工放样

- 5.4.1 施工放样前应探测混凝土构件内的钢筋和钢绞线位置和走向，避免施工时对其造成破坏。
- 5.4.2 施工放样时应标定锚栓孔和压紧条孔的圆心位置，并标定碳纤维板拉伸向的中心线和上下边缘线、锚具切槽边缘线位置等。
- 5.4.3 根据放样进行尺寸核对，张拉端应预留出足够距离满足张拉需要。

5.5 基面处理

- 5.5.1 清理混凝土构件的待粘贴基面，在碳纤维板分布位置及其两侧各 2 cm~3 cm 范围内，打磨混凝土构件基面碳化层，用压缩空气将表面浮尘吹净。对于表面超过 5 mm 的凹凸不平处，应采用修复材料修补平整。
- 5.5.2 如有孔洞、凹陷、露筋、裂缝、破损等病害，应使用粘结能力强的修复材料修补平整。

5.6 安装锚固件

5.6.1 钻孔

按照放样的位置进行钻孔，钻孔直径、钻孔深度、钻孔与基面的垂直度、钻孔中心距应满足设计要求。

5.6.2 植入锚栓

5.6.2.1 植入前宜用丙酮或工业用酒精擦拭孔壁、孔底。

5.6.2.2 植入锚栓，将锚栓单向旋转插入，直至达到设计深度，植入锚栓与孔壁间的间隙应基本均匀。

5.6.2.3 支座锚栓应用结构胶进行粘接、固化，结构胶固化之前不应扰动支座锚栓。

5.7 安装张拉锚固装置

5.7.1 分别于固定端和张拉端安装张拉锚固装置，调整装置的位置，使其纵向中心线与碳纤维板中心线重合后，旋紧锚栓的螺母和垫片。

5.7.2 张拉锚固装置和混凝土构件基面应紧密贴合，对于未贴合的部位，应用结构胶填补封闭。

5.8 张拉碳纤维板

5.8.1 在碳纤维板上涂抹结构胶，涂抹后的结构胶应按照碳纤维板宽度方向呈突起状，平均厚度应大于等于 3 mm。

5.8.2 张拉前，应完成碳纤维板-锚具组件、张拉锚固装置、张拉端工具拉杆、工具挡板、张拉装置等的安装，调整张拉锚固装置、碳纤维板-锚具组件、张拉装置至同一轴线。

5.8.3 碳纤维板体外预应力张拉顺序应符合设计规定。在任何情况下，张拉控制应力不应超过最大张拉控制应力。

5.8.4 同一结构物两侧碳纤维板张拉采用单端同时对称分级张拉进行，采用张拉力和伸长量双控原则。实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计规定，设计未规定时，其偏差应控制在 $\pm 6\%$ 以内，否则应暂停张拉，待查明原因并予以调整后，方可继续张拉。

5.8.5 张拉碳纤维板至初应力，标记锚具张拉移动起始线，初应力宜为张拉控制应力的 $10\% \sim 25\%$ ，碳纤维板边缘与混凝土构件表面间应有胶液挤出。若局部未挤出胶液，应及时补充结构胶。

5.8.6 张拉按设计要求分级进行，每级张拉到位后应持荷不低于 3 min，并记录实际张拉力和碳纤维板的实际伸长量。

5.8.7 全部张拉过程应在结构胶开始固化前完成，具体时间应符合设计文件的要求。

5.8.8 张拉过程中应进行反拱观测，防止混凝土构件反拱过大开裂。

5.8.9 张拉就位后，应保证碳纤维板与混凝土构件之间密实，及时清理两边挤出的结构胶。

5.8.10 每一级张拉到位后，应及时拧紧张拉杆上的锁紧螺母，进行碳纤维板的锚固。锚固后，建立在锚下的实际有效预应力与设计张拉控制应力的相对偏差应不超过 $\pm 5\%$ ，但在张拉至 100% 时，张拉控制应力宜取上偏差。

5.8.11 张拉到设计张拉力的 100% 并持荷完成后，应拧紧压紧条，卸除千斤顶荷载并拆掉千斤顶、工具挡板等张拉装置，割掉过长的张拉杆。

5.8.12 张拉和锚固碳纤维板时应填写施工记录。

5.9 防护

5.9.1 对锚具及压紧条等金属件宜采用环氧砂浆等封锚或表面防护。

5.9.2 碳纤维板表面应涂抹表面防护材料进行防护处理。

5.9.3 防护时应填写防护记录。

6 检验验收

6.1 进场检验

- 6.1.1 材料进场时应核对型号、规格和数量，查验产品质保书、产品技术手册。核对无误后，进行进场检验。
- 6.1.2 进场检验时，同种材料、同一生产工艺条件下、同批次进场的产品可视为同一检验批。
- 6.1.3 碳纤维板应进行外观、尺寸偏差和力学性能的进场检验，技术要求、取样规则和检验方法分别按照 4.1.3、4.1.4 和 4.1.5 的规定执行。
- 6.1.4 进场检验时，结构胶应具有安全性鉴定报告，同一批次的取样数量应不少于 6 kg，检验项目、要求和方法见表 2。
- 6.1.5 锚具进场检验时，应进行外观、尺寸偏差、夹持疲劳性能和静载锚固性能试验。取样规则、检验要求和方法按照 4.4.2 的规定执行。
- 6.1.6 以上进场材料，当有不合格项时，应另取双倍数量的同种材料对不合格项目重新检验，如仍有不合格项时，则本批产品全部检验，符合要求者方可使用。

6.2 交工验收

- 6.2.1 交工验收应进行碳纤维板张拉检验、空鼓率检验和防护检验。
- 6.2.2 碳纤维板张拉检验同一工程可视为同一检验批。同一检验批取样数量应大于等于 1%，且不少于 3 片。
- 6.2.3 碳纤维板张拉检验的要求如下：
- 检验碳纤维板实际伸长值与理论伸长值的偏差，结果应符合 5.8.4 的要求；
 - 检验碳纤维板张拉锚固后，建立在锚下的实际有效预应力与设计张拉控制应力的偏差，结果应符合 5.8.10 的要求。
- 6.2.4 碳纤维板的理论伸长值可按公式 (1) 计算：

$$\Delta L_L = \frac{L \times P}{E \times S} \dots\dots\dots (1.)$$

式中：

- ΔL_L ——碳纤维板理论伸长值，单位为毫米 (mm)；
- L ——碳纤维板的长度，单位为毫米 (mm)；
- P ——张拉端的平均张拉力，单位为牛顿 (N)；
- E ——碳纤维板的弹性模量，单位为兆帕 (MPa)；
- S ——碳纤维板的横截面积，单位为平方毫米 (mm²)。

- 6.2.5 碳纤维板的实际伸长值除量测的伸长值外，应加上初应力以下的推算伸长值。可按公式 (2) 计算：

$$\Delta L_S = \Delta L_1 + \Delta L_2 \dots\dots\dots (2.)$$

式中：

- ΔL_S ——碳纤维板实际伸长值，单位为毫米 (mm)；
- ΔL_1 ——从初应力至最大张拉应力间的实测伸长值，单位为毫米 (mm)；
- ΔL_2 ——初应力以下的推算伸长值，可采用相邻级的实测伸长值，单位为毫米 (mm)。

- 6.2.6 张拉锚固后，应记录建立在锚下的实际有效预应力数值，记录表的推荐格式见附录 A。
- 6.2.7 在防护之前，用橡胶小锤轻轻敲击碳纤维板表面，记录其空鼓位置和空鼓面积，空鼓面积与有效粘结面积的比值为空鼓率，其计算结果应小于 2%。空鼓率记录表的推荐格式见附录 B。
- 6.2.8 锚具、压条、碳纤维板的防护应符合设计要求，其检查记录表的推荐格式见附录 B。
- 6.2.9 检验批有不合格项时，应判定该检验批不合格。
- 6.2.10 检验批不合格时，应对该检验批全面检验，并对不合格项重新施工，直至检验合格。

6.3 验收文件和记录

验收时应提供的文件和记录如下：

- a) 经审查批准的施工组织设计和施工技术方案；
- b) 碳纤维板、结构胶以及锚具的产品质保书、产品技术手册和进场检验报告；
- c) 张拉设备配套标定报告；
- d) 碳纤维板张拉记录表；
- e) 防护检查记录表。

附 录 A
(资料性)
碳纤维板张拉记录表

碳纤维板张拉记录表的推荐格式见表A. 1。

表A. 1 碳纤维板张拉记录表

张拉单位/人员					张拉日期/时间		
张拉标段/编号							
碳纤维板型号规格			张拉设备				
碳纤维板总长							
碳纤维板自由段长度 （伸长量计算取值）							
张拉力 （kN）		油表数 （MPa）	碳纤维板伸 长量 （mm）	碳纤维板理 论伸长量 （mm）	理论伸长差 （mm）	允许伸长值 偏差 （mm）	持荷时间 （min）
初应力							
%张拉力							
%张拉力							
%张拉力							
%张拉力							
记录说明：							

附 录 B
(资料性)
防护检查记录表

防护检查记录表的推荐格式见表B. 1。

表B. 1 防护检查记录表

检查单位/人员		检查日期/时间					
检查标段/编号							
碳纤维板有效粘结面积							
碳纤维板编号/位置		空鼓位置	空鼓面积	空鼓率	锚具防护情况	压条防护情况	碳纤维板防护情况
检查结论							
记录说明：							